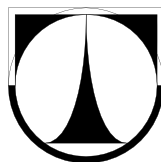


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2013

Jakub Eichler

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Automatizované měření parametrů LED diod pro vzdálenou laboratoř

Automatized Measurement of Parameters of LEDs for the Remote Laboratory

Autor: Jakub Eichler.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.

Konzultant: Ing. Miloš Hernych.

Rozsah bakalářské práce

Počet stran: 44

Počet obrázků: 31

Počet tabulek: 2

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Eichler**
Osobní číslo: **M10000088**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Automatizované měření parametrů LED diod pro vzdálenou laboratoř**
Zadávající katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**


Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s námětem a plánovanou strukturou budoucí vzdálené úlohy.
2. Seznamte se s parametry LED jako elektronické součástky i jako světelného zdroje.
3. Navrhněte přípravek pro měření parametrů LED.
4. Realizujte vzdálené ovládání a měření na přípravku s výstupem pro webový prohlížeč.


Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. DOLEČEK, J. Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky. Praha: BEN, 2007. 160 s. ISBN 80-7300-184-5.
2. JELINEK, Jiří. Měření fyzikálních veličin. Liberec : Přednášky TUL, 2012.
3. KOLÁŘ, Milan. Analogová elektronika. Liberec : Přednášky TUL, 2012.
4. TKOTZ, Klaus , et al. Příručka pro elektrotechnika. 2. doplněné vydání. Praha : EUROPA-SOBOTÁLES, 2006. 623 s. ISBN 80-86706-13-3.
5. Příručka projektanta systému FOXTROT [online]. 2012, č. 1, s. 73 [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00411_01_Foxtrot_DesignManual.cz.pdf.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Konzultant bakalářské práce: Ing. Miloš Hernych
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012
Termín odevzdání bakalářské práce: 17. května 2013


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2012

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 10. 5. 2013

Podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Jelínkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za psychickou podporu.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na tvorbu zařízení umožňujícího automatizované a vzdálené měření LED. Srdcem práce je PLC foxtrot CP-1008, které pomocí napětím řízeného zdroje řídí proud procházející diodami, měří jejich napětí a pomocí luxmetru BH 1603FVC-TR získává informaci o svítivosti LED. PLC rovněž na svém webservru vytváří webové rozhraní pro ovládání. Vizuální kontrola měření je umožněna webovou kamerou, jejíž obraz je na webovém rozhraní.

Klíčová slova: iLAB, PLC, Mosaic, Webmaker, LED, zdroj proudu, luxmetr.

ABSTRACT

This thesis is focused on creating automated equipment that allows remote measurement and LED. The heart of the work is PLC foxtrot CP-1008, which use voltage controlled source controls the current through the diode, measure the voltage and using a light meter 1603FVC BH-TR obtains information about the luminance LED. PLC also produces its web interface for control. Visual inspection measurement is enabled web camera whose image is on the web interface.

Key words: iLAB, PLC, Mosaic, Webmaker, LED, current source, light meter.

Obsah

Obsah	7
Úvod.....	9
1. Světlo	10
1.1 Fotometrie.....	11
2. Světelné prvky	13
2.1 Zdroje světla	15
3. PLC foxtrot	16
3.1 Princip PLC	16
3.2 Programování PLC	17
3.2.1 Programové organizační jednotky	18
3.3 HW vybavení CP 1008	18
4. HW vybavení úlohy	20
4.1 Zdroj proudu	21
4.1.1 Měření proudu.....	21
4.1.2 Proudové zrcadlo	21
4.1.3 Napětím řízený zdroj proudu	23
4.2 Měřicí komora	26
4.2.1 Převodník světla na proud BH1603FVC-TR.....	27
4.2.2 Měníče napětí.....	30
5. Software pro PLC automat CP-1008	31
5.1 Data poskytovaná deskou IR-1060.....	34
5.2 Program ve strukturovaném textu.....	35
5.3 Tvorba webové stránky	36
6. IP kamera	39
6.1 Nastavení kamery	39
7. Provedení úlohy	41
Shrnutí.....	42
Závěr	43
Použitá literatura	44

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: ZÁVISLOST ODPORU FOTOIREZISTORU NA OSVĚTLENÍ	13
OBRÁZEK 2: V-A CHARAKTERISTIKA FOTODIODY	14
OBRÁZEK 3: VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKA FOTOTRANZISTORU	14
OBRÁZEK 4: PŘÍKLAD SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKY FOTOTRANZISTORU	15
OBRÁZEK 5: CYKLUS PLC [5]	17
OBRÁZEK 6: OBSAZENÍ SVOREK FOXTROTU	19
OBRÁZEK 7: PŘIPOJENÍ 8 LED NA 4 VÝSTUPY	20
OBRÁZEK 8: OZ JAKO PŘEVODNÍK NAPĚTÍ NA PROUD	22
OBRÁZEK 9: PŘEVODNÍK NAPĚTÍ NA PROUD S PROUDOVÝM ZRCADLEM	22
OBRÁZEK 10: NAPĚTÍM ŘÍZENÝ ZDROJ PROUDU	23
OBRÁZEK 11: DPS ZDROJE PROUDU	24
OBRÁZEK 12: ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA ZDROJE	25
OBRÁZEK 13: ÚČEL KOMORY	26
OBRÁZEK 14: PROVEDENÍ KOMORY	27
OBRÁZEK 15: BLOKOVÝ DIAGRAM OBVODU BH1603FVC-TR [7]	28
OBRÁZEK 16: SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKA SNÍMAČE[7]	29
OBRÁZEK 17: SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST LIDSKÉHO OKA [2]	29
OBRÁZEK 18: ÚHLOVÁ ZÁVISLOST CITLIVOSTI NA DOPADAJÍCÍ ZÁŘENÍ	30
OBRÁZEK 19: ZAPOJENÍ MĚNIČŮ NAPĚTÍ	31
OBRÁZEK 20: VÝBĚR PLC	32
OBRÁZEK 21: KONFIGURACE NAPĚŤOVÝCH VSTUPŮ	32
OBRÁZEK 22: NASTAVENÍ NAPĚŤOVÉHO VÝSTUPU	33
OBRÁZEK 23: NASTAVENÍ IP ADRESY	34
OBRÁZEK 24: NASTAVENÍ VSTUPŮ A VÝSTUPŮ	35
OBRÁZEK 25: WEBOVÁ STRÁNKA - NÁVOD ÚLOHY	38
OBRÁZEK 26: NASTAVENÍ LAN PŘIPOJENÍ	39
OBRÁZEK 27: NASTAVENÍ VOLNĚ DOSTUPNÉHO OBRÁZKU	39
OBRÁZEK 28: ZHASNUTÍ KONTROLKY	40
OBRÁZEK 29: STAV KAMERY	40
OBRÁZEK 30: ROZLIŠENÍ KAMERY	40
OBRÁZEK 31: PROVEDENÍ ÚLOHY	41
OBRÁZEK 32: OVLÁDACÍ PANEL VZDÁLENÉ ÚLOHY	42

Seznam tabulek

TABULKA 1: VÝZNAM OZNAČENÍ SVOREK AUTOMATU	20
TABULKA 2: VOLBA SENSITIVITY	27

Úvod

Stále častěji se dnes můžeme setkat se svítivými diodami označovanými zkratkou LED (light emitting diode), už nejsou používány pouze jako nízko příkonové kontrolky ale možnosti jejich využití se neustále rozšiřují. Paleta barev se stále rozšiřuje a svítivost, kterou produkují, je stále vyšší a vyšší. Třetí důležitý faktor je cena, která je dnes už přijatelná. Pro tyto aspekty se LED používají i tam, kde to před pár lety bylo nemyslitelné, jako například na náhrady klasických (dnes již částečně zakázaných) žárovek nebo na světla automobilů. Využití se pro LED našlo nejen jako zdroj pro bezdrátový přenos informace (dálkové ovládání obvykle v infračervené oblasti), ale i jako zdroj světla v monitorech a televizorech LED-TV, kde z úsporných důvodů nahrazují CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) trubice. Hlavními výhodami LED jakožto zdroje světla je jejich vysoká účinnost, malé rozměry a mechanická odolnost. Naopak nevýhodou vůči žárovkám je jejich nespojitě vyzařované spektrum.

Prvky LED patří do moderní oblasti nazývané optoelektronika. I přes jednoduchou funkci a konstrukci se jedná o součástky, jejichž efektivní používání vyžaduje hluboké znalosti nejen z hlediska teorie obvodů (jedná se o nelineární parametrické prvky), ale zejména znalosti fyzikální, z oblasti fotometrie a kvantové mechaniky. Nezastupitelnou roli zde hraje i experiment. Právě touto oblastí se zabývá předložená práce.

Motivace

- V teoretické oblasti shrnout, vysvětlit a vyhodnotit základní vlastnosti LED, které jsou moderním elektronickým zdrojem světla a seznámit se s fotometrií.
- V praktické části realizovat jednoduchá zařízení, které umožní měřit všechny charakteristiky LED.
- Seznámit se s PLC firmy TECO, jeho vnitřním vybavením a programováním ve strukturovaném textu.

Cíle práce

- Seznámit se s funkcí LED, jejími parametry a jejím využitím.
- Navrhnout a realizovat přípravky pro měření charakteristik
- Vytvořit vzdálenou úlohu, která nahradí stávající frontální úlohu a tím umožní uvolnění času ve výuce pro jinou zajímavou úlohu.

1. Světlo

Světlo je elektromagnetické záření vnímané lidským okem. Světlo se ve vakuu šíří rychlostí cca 300 000 km/s. Barva světla je dána jeho vlnovou délkou λ . Viditelné světlo je z rozsahu vlnových délek 380 až 780 nm.

Elektromagnetické záření přenáší energii. Její přenos popisujeme zářivým tokem, což je výkon připadající na jednotkový prostorový úhel, steradián (sr). Lidské oko však reaguje na zářivý tok jen v úzkém pásmu vlnových délek a ještě s různou citlivostí na záření různých vlnových délek. To je popsáno křivkou citlivostí lidského oka: Je to závislost zrakového vjemu na vlnové délce získaná průměrem z měření na mnoha lidech. Její maximum rovné jedné je pro žlutozelenou barvu s vlnovou délkou 555 nm. Pro vlnové délky mimo viditelnou oblast, tj. pod 380 nm a nad 780 nm, je citlivost nulová. Ani sebevětší zářivý tok nevyvolá zrakový vjem, oko ovšem může poškodit.

Oblastí fyziky, která se zabývá subjektivním vnímáním světla, je fotometrie. Zde podám pouze její základy. Vychází z vlnové teorie světla. Důkazem vlnových vlastností světla je mj. interference.

K pochopení základů funkce optoelektronických součástek je však nutná kvantová mechanika. Místo vlnových vlastností elektromagnetického záření se v optoelektronice uplatňují jeho korpuskulární vlastnosti. Světlo se může chovat jako proud částic, které nazýváme fotony. Ty mají tím větší energii, čím mají vyšší frekvenci. První významnou historickou aplikací této teorie bylo vysvětlení fotoelektrického jevu v kovech na začátku minulého století. Od určité vlnové délky níže mají fotony dostatečnou energii k tomu, aby vyrazily elektron z kovu do vakua a tím ve vakuu vyvolaly proud, vyrazily elektron z valenčního pásu do vodivostního a tím zvýšily vodivost, generovaly pár elektron a díra na přechodu P-N a způsobily proud v uzavřené diodě atd. Naopak při přeskoku elektronu z vyšší na nižší energetickou hladinu, při rekombinaci elektronu a díry apod. se uvolněná energie vyzáří ve formě fotonů, tedy světla. Čím je uvolněná energie vyšší, tím je vlnová délka světla kratší. Poněvadž se často uvolňuje stejná energie, má emitované záření, či světlo, jednu vlnovou délku, je monochromatické. Přesné vysvětlení je složité, proto v dalších částech nebudeme přecházet do detailů. [1]

1.1 Fotometrie

Základní fotometrickou veličinou je svítivost I , jejíž jednotkou je 1 kandela (1 cd). Kandela je definována pro bodový rovnoměrně vyzařující zdroj o frekvenci záření 540 THz (vlnová délka 555 nm), který vyzařuje zářivý tok $1/683$ W do prostorového úhlu 1 sr. Celkem tedy bodový zdroj o svítivosti I vyzařuje do prostoru zářivý tok $4 \pi I/683 = 18,4 I$ mW.

Účinek světelného zdroj lze charakterizovat i pomocí světelného toku Φ . Jednotkou světelného toku je 1 lumen (1 lm). Bodový zdroj, jehož vyzařovací charakteristika je kulově symetrická, vyzaří do prostorového úhlu 1 steradián světelný tok 1 lm, je-li svítivost onoho bodového zdroje rovna právě jedné kandelě. Světelný tok souvisí se světelným výkonem zdroje. Při maximální citlivosti lidského oka ($\lambda = 555$ nm) je světelný tok roven zářivému toku. Při jiných vlnových délkách musí být zářivý tok vyšší, aby vyvolal stejný zrakový vjem.

Praktickou veličinou je osvětlení E , které je definováno jako pomocí světelného toku dopadajícího kolmo na malou plochu, kterou můžeme považovat za rovinnou. Obecný vztah pro osvětlení má tvar

$$E = \frac{d\phi}{dS}$$

Rovnice 1: osvětlení

kde $d\Phi$ je elementární světelný tok dopadající na elementární plochu dS a α je neorientovaný úhel mezi kolmicí k ploše a směrem světelného toku. Jednotkou osvětlení je 1 lux (lx). Při tomto osvětlení dopadá světelný tok 1 lm kolmo na jednotkovou plochu, $lx = lm/m^2$. Slunce vytváří na zemském povrchu během slunečného dne osvětlení okolo 100 000 lx.[4]

V praxi je důležité vypočítat osvětlení plochy vyvolané zdrojem dané svítivosti. Pokud je zdroj o svítivosti I bodový a vyzařuje rovnoměrně do všech směrů pak je osvětlení malé rovinné plochy dáno vztahem

$$E = \frac{I \cos(\alpha)}{r^2}$$

Rovnice 2: osvětlení zjednodušeně

kde r je vzdálenost zdroje od plochy a α je úhel mezi normálou plochy a spojnici r plochy a zdroje. Osvětlení klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje a je největší při kolmém dopadu. Pokud je plocha velká, je nutno použít integrace.

U každého elektrického zdroje světla lze určit účinnost η , která je dána poměrem výstupního výkonu (v našem případě celkového světelného toku Φ) a elektrického příkonu P ,

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

Rovnice 3: světelná účinnost

Takto definovaná účinnost má neobvyklou jednotku lm/W. Pokud však přepočítáme světelný tok na zářivý tok, pak pro účinnost vyjde obvyklá bezrozměrná hodnota. Potřebujeme však znát citlivost lidského oka. Účinnost, podobně jako další veličiny, závisí na vlnové délce.

2. Světelné prvky

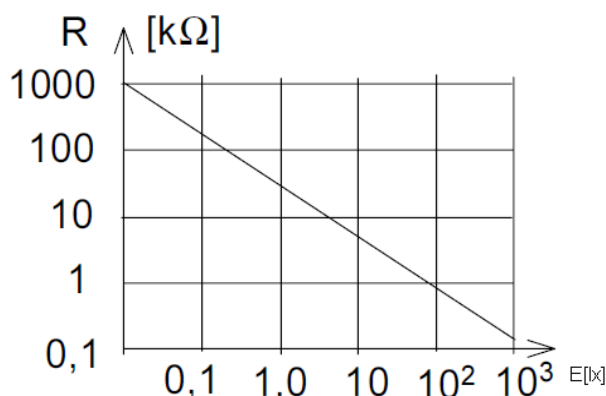
Optoelektronika řeší převod světelné (či obecně zářivé) energie na elektrickou a naopak. Proto se setkáváme se dvěma velkými skupinami prvků:

1. Převodníky záření na elektrickou energii. Obvykle se měří osvětlení a na výstupu je elektrické napětí nebo proud. Pak se tyto prvky nazývají luxmetry.
2. Převodníky elektrické energie na zářivou. Je jich spousta a obecně mluvíme o zdrojích světla, či záření.

2.1 Luxmetry

Pro měření osvětlení se používají luxmetry, jejichž hlavní částí je převodník osvětlení napětí. Tento převodník je realizován některým z polovodičových prvků, jehož vlastnosti jsou ovlivňovány dopadajícím světlem.

Fotorezistor je polovodič napařený na skleněné destičce. Jeho odpor exponenciálně klesá s osvětlením dle obrázku 1. Fotorezistory pracují na principu vnitřního fotoefektu, a protože mají dlouhou odezvu na změnu osvětlení, tak se využívají především v automatických stmívačích.

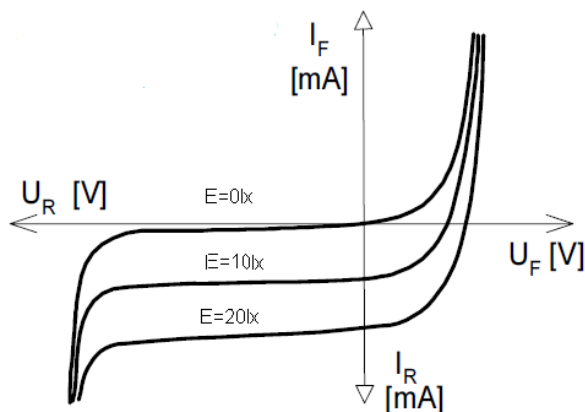


Obrázek 1: Závislost odporu fotorezistoru na osvětlení

Fotodioda nabízí dvě možnosti zapojení, viz obr. 2. První je v závěrném směru, kde je potřebný další zdroj napětí, na obr. 2 je označen jako U_R . Proud diodou při konstantním napětí zdroje roste s osvětlením. Z hlediska teorie obvodů jde o parametrický prvek.

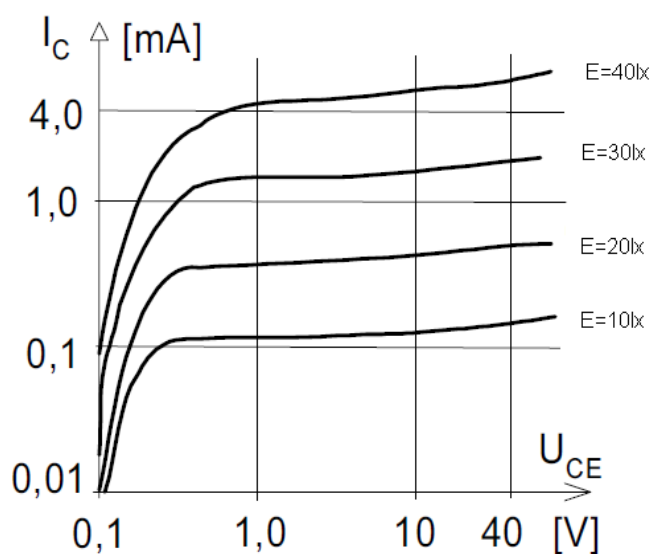
Druhá možnost zapojení je ve fotovoltickém režimu (propustný směr). Generované napětí je funkcí osvětlení. Využití především ve fotovoltických elektrárnách. V nejjednodušším zapojení se nabíjí akumulátor, např. zahradní osvětlení. Jsou zde tedy dva zdroje zapojené proti sobě a v závislosti na osvětlení může proud téci do akumulátoru i z něho. V praxi je však směr proudu řízen. Luxmetry s fotodiodou

mají proudový výstup neboť proud je lineárně závislý osvětlení, difúzní napětí je nelineárně závislé.

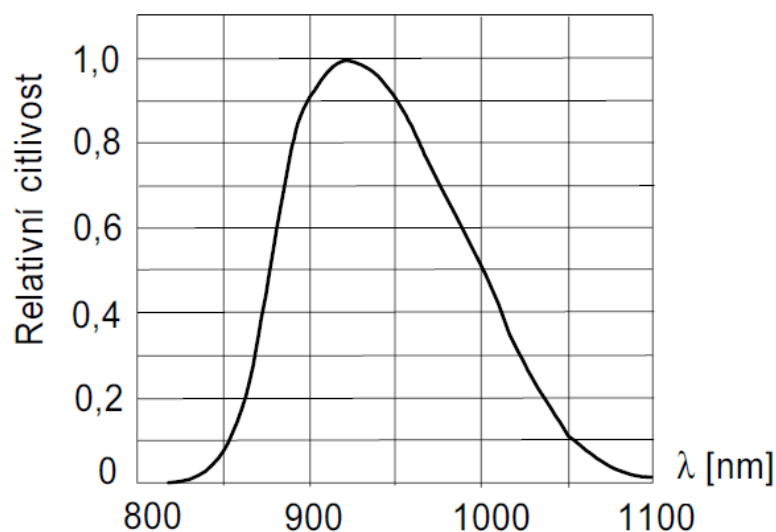


Obrázek 2: V-A charakteristika fotodiody

Fototranzistor je polovodičová součástka, ve které je možné řídit proud jím procházející dopadajícím světlem. Optické záření dopadá okénkem v pouzdře do prostoru bázevého přechodu, kde generuje díry a elektrony, které zvýší bázevý proud stejně jako vyšší vstupní napětí u klasického tranzistoru. Fototranzistory se vyrábí pro určitý rozsah vlnových délek dopadajícího záření, ostatní záření je odfiltrováno světelným filtrem v okénku fototranzistoru. Díky své relativně rychlé odezvě na skokovou změnu osvětlení je jich využíváno v galvanických oddělovačích (optočlenech). Příklad výstupní charakteristiky fototranzistoru je na obr. 3. Jde opět o parametrický prvek, tentokrát dvoubran. Citlivost fototranzistoru závisí na vlnové délce. Příklad spektrální charakteristiky fototranzistoru je na obr. 4. pracuje v infračervené oblasti, typické pro dálkové ovládání.



Obrázek 3: Výstupní charakteristika fototranzistoru



Obrázek 4: Příklad spektrální charakteristiky fototranzistoru

2.1 Zdroje světla

Vedle svítivosti je základní charakteristikou zdroje světla jeho spektrum, tj. závislosti svítivosti (či lépe zářivosti) na vlnové délce. Typické jsou dva krajní případy: spojité spektrum a čárové spektrum. Spojité spektrum vyzařuje např., absolutně černé těleso. Čárové spektrum vyzařují ionizované plyny a pro každý z nich jsou charakteristické jiné spektrální čáry. U nejjednoduššího plynu, vodíku, tvoří spektrální série“ Lymanova (uv), Balmerova (světlo), Bracketova, Paschenova, Pfundova (vše ir). Existují další spektra, např. pásová vyzařovaná molekulami.

Zdroje světla lze dále dělit na přírodní a umělé. Mezi přírodní patří oheň, slunce, blesk atd. Umělé zdroje světla jsou ty, které vytvořil člověk. Ty v dalším stručně proberu.

Žárovka je tepelný zdroj světla o spojitém spektru. Rozžhavené vlákno emituje proud fotonů, které jsou nosičem světla. Vlákno je z wolframu a je ve skleněné bance plněné inertním plynem. Účinnost se pohybuje mezi 5 až 8 %. Lépe jsou na tom halogenové žárovky, které jsou plněné plynem s příměsí halogenidů a mají účinnost kolem 15 %. Žárovky mají životnost cca 1000 hodin.

K dispozici jsou též zdroje světla pracující na principu elektrického výboje, označované jako výbojky. Zde je spektrum čárové, ale pomocí luminoforu se převádí na spojité s cílem přiblížit se slunečnímu záření. Výbojky se dělí na nízkotlaké a vysokotlaké. Nízkotlaké výbojky se nazývají zářivky a jejich účinnost se pohybuje kolem 25 až 30 %. Vysokotlaké výbojky mají účinnost cca 50 %, ale je problém

s vlnovou délkou světla. Vydávají čárové spektrum o několika výrazných čarách, kterým odpovídají barvy většinou oranžové nebo žlutozelené. Proto se nepoužívají v interiéru ale jako pouliční osvětlení. Výhodou výbojek je delší životnost kolem 10000 hodin. Nevýhodou je složitější konstrukce a s ní spjatá cena.

Ve stále větší škále barev se dnes prodávají LED. Jejich výhodou je vysoká účinnost kolem 80 %, avšak připouštějí pouze nízký příkon a s tím souvisí nízký světelný tok. V produkci LED jsou dva typy rozlišující se podle typu PN přechodu. Homogenní LED jsou tvořeny na polovodiči jednoho typu, který je na každé straně dotovaný jinak, což zajistí, aby vznikl přechod PN. Využívají částečně propustného materiálu GaAs. Heterogenní diody se skládají z více materiálů, jsou složitější, tím pádem dražší a jejich využití je zejména pro LASEROvé aplikace. Barva světla LED je určena dotací polovodiče. Bílou barvu není možné generovat přímo, a proto se používají diody s luminoforem, který je schopen měnit světlo z UV spektra na viditelné bílé světlo. Bílé světlo je též možné vyrobit RGB diodou, ale to se v praxi nepoužívá. LED je nutné chránit proti přepětí v závěrném směru, protože může dojít k průrazu už při 5V.

3. PLC foxtrot

Pro mou úlohu je důležité, aby automat měl vstupy a výstupy, které umožňují:

- Měřit dvě napětí
- Nastavovat výstupní proud .
- 8 reléových výstupů.

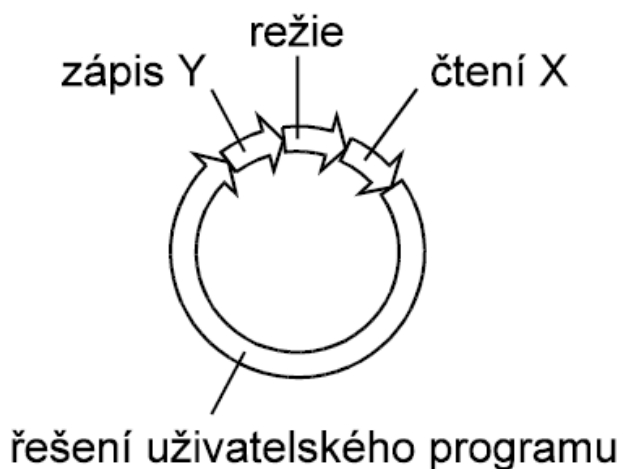
Při výběru PLC bylo nutno vybírat z nabídky firmy TECO. Firma TECO má ve své nabídce modulární PLC např. řada TC700 a malé, kompaktní automaty s možností modulárního rozšíření Foxtrot. Pro foxtrot jsem se rozhodl, kvůli ceně základního modulu. Protože, analogový proudový výstup nemá žádné PLC z řady FOXTROT bude potřeba použít analogový napěťový výstup a doplnit jej převodníkem napětí na proud. Analogový napěťový vstup i výstup mají pouze dva FOXTROT-y a to s označeními CP 1005 a CP 1008. Prakticky totožné s nimi jsou i automaty CP1015 a CP 1018, které ovšem mají navíc ve své konstrukci LCD display a tudíž jsou dražší. Jejich použití je zbytečné, neboť grafický výstup bude přes webovou stránku a display by zůstal nevyužit. CP 1005 má jen 6 reléových výstupů, ale ani CP1008 jich nemá dostatek a jedno relé bude muset být přidáno externě.[8]

3.1 Princip PLC

PLC (Programmable Logic Controller) je programovatelný číslicový systém určený pro řízení převážně průmyslových aplikací, původně byl určen k nahrazení

reléové logiky, dnes se jimi realizují i složité algebraické operace. S okolím interaguje pomocí vstupů a výstupů, které mohou být jak digitální tak analogové.

PLC si z paměti programu načítá instrukce, podle nichž pak vykonává řídicí algoritmus. Program „běží“ v opakujících se cyklech tak, že nejprve se načtou vstupy a uloží do oblasti „X“ (aby po celou dobu cyklu byli konstantní, což umožňuje odstranění hazardních stavů kdy se v programu na jeden vstup „dotážeme“ vícekrát přičemž jeho stav se změnil), poté přijde na řadu vlastní vykonání řídicího algoritmu, v němž program zapisoval do oblastí „Y“, a odtud se vše najednou přesune na fyzické výstupy. Do celkové doby cyklu se přidá čas přípravy na další cyklus. [5]



Obrázek 5: Cyklus PLC [5]

3.2 Programování PLC

Tvorbu programů pro PLC specifikuje norma IEC 61 131-3. Ta umožňuje jednodušší přechod programátora z výrobků jednoho výrobce na jiného, neboť program musí splňovat tuto normu. Norma specifikuje tyto 4 možnosti zápisu programu:

- Liniové schéma **LD**
- Instrukční list **IL**
- Jazyk funkčních bloků **FBD**
- Strukturovaný text **ST**

Liniové schéma (Ladder Diagram) je grafický jazyk, je obdobou reléového schématu. Výhodou je názornost a není potřeba znát základy jakéhokoli programování. Pokud má program obsahovat skoky a aritmetické operace je realizace přes LD nevhodná, protože se program stane nepřehledným.

Instrukční list (instruction list) je strojově orientovaný programovací jazyk (obdoba assembleru), to znamená, že každé instrukci PLC odpovídá instrukce jazyka. V IL je možné udělat program, který nejlépe využívá možnosti PLC- efektivita kódu.

Jazyk funkčních bloků (function block diagram) je grafické vyjádření, kde každá operace má svůj blok, jehož velikost je dána počtem vstupů a jež je označen názvem nebo symbolem, podle kterého se pozná, jakou funkci realizuje.

Strukturovaný text (structured text) je textový jazyk, je obdobou vyšších programovacích jazyků v PC (C, pascal a ada). Umožňuje konstruovat složité analytické operace, rozsáhlé algoritmy a snadnou tvorbu cyklů a větvení programu. Jeho nevýhodou je, že kód je méně efektivní než z IL, ale využívá se hlavně pro jeho přehlednost a rychlost tvorby programu.

3.2.1 Programové organizační jednotky

Programová organizační jednotka POU je základní nejmenší blok programu. POU mohou být definované výrobcem nebo uživatelem. Do POU se předávají informace při volání jako parametr. POU dělíme na:

- Funkce
- Funkční bloky
- Programy

Funkce je nejjednodušší POU, její hlavní vlastností je, že pro stejnou kombinaci vstupů musí vždy vydat stejný výstup, neumožňuje tedy realizovat sekvenční řízení. Funkce má vždy jen jeden výstup.

Funkční blok si na rozdíl od funkce může uchovávat informace, které mohou ovlivnit výsledek. Funkční blok může tedy realizovat sekvenční logické obvody a může mít i více výstupů.

Program je nejvyšší POU uživatelského programu, který může zpracovávat i více POU typu program, které zpracuje v určitém pořadí nebo podle priority. [6]

3.3 HW vybavení CP 1008

CP 1008 má 7 reléových výstupů čtyři 8 bit analogové napěťové výstupy, ze kterých se smí odebírat proud až do velikosti 10mA. výstup má rozsah 0 až 10V a je přetížitelný na 105% čili může nabývat napětí 0 až 10,5V přičemž krok vychází cca 42,2mV. K dispozici je 9 analogových vstupů, které jsou připraveny k přímému

připojení teplotních čidel a 2 vstupy které mohou být konfigurovány jako vstupy pro různý typ termočláunku nebo jako vstup pro měření napětí o rozsazích:

- -0,02 až 0,05V
- -0,02 až 0,1V
- 0 až 1V
- 0 až 2V

Jelikož ze snímače osvětlení jde signál o maximální hodnotě 2V je vybrán rozsah 0 až 2V pro napětí LED bude rozsah stejný, jen bude potřeba napěťový dělič, neboť LED mají i kolem 3,2 V difúzní napětí. Bohužel nelze za běhu programu měnit rozsah analogového převodníku a zjemnit krok. A/D převodník je aproximační a výstupní slovo má 12bitů, a TECO uvádí, že váha nejméně významného bitu je $610,35\mu\text{V}$ a maximální doba kterou PLC potřebuje k opakování A/D převodu je $650\mu\text{s}$.

Doba převodu není v mém případě nikterak omezující, neboť luxmetr při pokusu o více měření než dvakrát za sekundu se nestihl ustálit. Pokusil jsem se měnit proud každých 0,3 sekundy a odečtené osvětlení těsně před změnou proudu (čtení na začátku cyklu PLC a zápis na konci cyklu PLC) se lišilo vůči staticky naměřenému (ruční režim) o cca 20%. Při ručním měření tento problém nehrozí, neboť webová stránka obnovuje údaje každou 1s (přenos do i z PLC). [5]

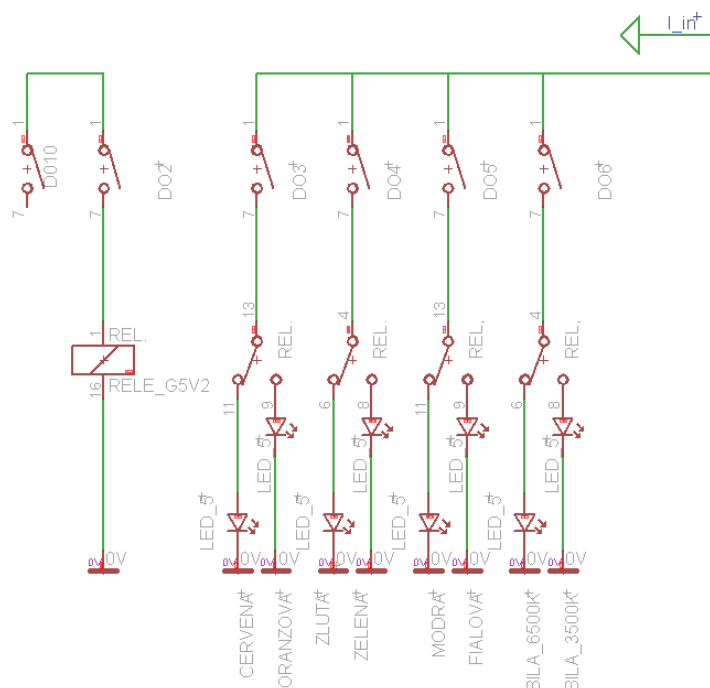


Obrázek 6: Obsazení svorek foxtroty

barva	interpretace
 	kladný pól zdroje
 	záporný pól zdroje
 	analogová zem
 	rel. Výst. 24V
 	rel.výst. Přepíná proud do LED
 	napěťový výstup
 	napěťové vstupy 0až 2V

Tabulka 1: význam označení svorek automatu

Reléový výstup DO2 slouží jako rozšiřovací pro připojení 8 LED na 4 reléové výstupy (multiplexování výstupu.). Zapojeno je to tak, že jeden výstup z PLC bude přivádět proud na přepínací kontakt relé, kterým se vybere jedna z LED, která bude svítit. DO10 slouží pro přepínání rozsahu napětím řízeného zdroje proudu. Přidání jednoho externího relé je nutností, protože automat má jen 7 reléových výstupů. Zapojení je na obrázku číslo 7. Většina ze zbylých vstupů/výstupů bude využita na některé z dalších úloh, které budou obsluhovány jedním automatem.



Obrázek 7: připojení 8 LED na 4 výstupy

4. HW vybavení úlohy

Základem úlohy je automat foxtrot CP-1008, který bude generovat webovou stránku pro vzdálený přístup k úloze a řídit jí. Automat je popsán ve třetí kapitole. Pro vizualizaci průběhu měření je použita IP kamera. Potřeba je též přípravek pro měření svítivosti LED a napětím řízený zdroj proudu.

4.1 Zdroj proudu

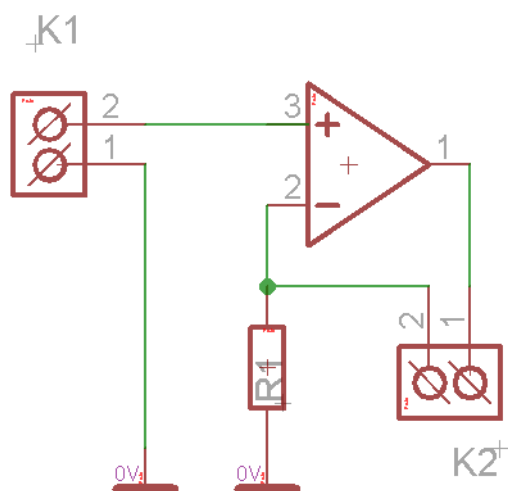
CP-1008 bohužel nemá analogový proudový výstup a proto, že LED se napájí zdrojem proudu, jsem musel vyrobit zdroj proudu. Zdroj musí být regulovatelný, a musí být řízen z automatu. CP-1008 má jen analogový napěťový výstup a proto se musí jednat o napětím řízený zdroj proudu.

4.1.1 Měření proudu

Na první pohled jako nejjednodušší, se jevila možnost připojovat LED přes rezistor na analogový napěťový výstup PLC a měřit proud. Tato možnost se ukázala nerealizovatelná, protože proudový vstup má vstupní odpor 100Ω a je zapotřebí jej připojit proti zemi. To znamená, že při měření voltampérové charakteristiky LED by se k napětí diody přičítal i úbytek na proudovém vstupu až 2 V. Tento úbytek je možno programově eliminovat. Rozsah měřených proudů odpovídá průmyslovému standardu 4 až 20mA a 0 až 20mA. Pro první platí, že při nižším proudu se ve stavovém slově automatu nastaví detekce podkročení rozsahu, která slouží pro identifikaci závady na proudové smyčce, konkrétně rozpojení obvodu. Tento vstup je ale konfigurovatelný i na jiná měření a měl zůstal volný pro další úlohu, která bude připojena ke stejnému automatu.

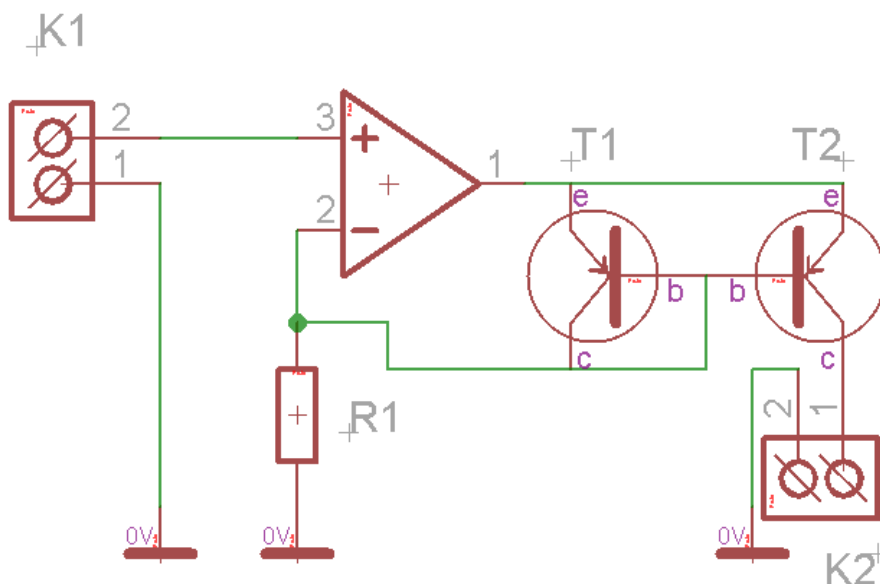
4.1.2 Proudové zrcadlo

Jelikož CP-1008 resp. její modul IR-1060 zajišťující spojení s okolím přes vstupy a výstupy není schopen fungovat jako ampérmetr je pro mě nutností nastavovat proud LED bez zpětné vazby. K tomuto jsem se rozhodl použít operační zesilovač jako převodník napětí na proud.



Obrázek 8: OZ jako převodník napětí na proud

Toto zapojení využívá toho, že OZ se snaží vyrovnávat rozdíl mezi vstupy na nulu tudíž přivedené napětí na svorkovnici K1 se objeví i na invertujícím vstupu OZ, to vyvolá, že začne téct proud rezistorem R1 a jelikož vstup je vysokoimpedanční, musí proud protékat též přes svorkovnici K2, které je výstup převodníku. Pro mou úlohu je toto zcela nevyhovující, protože zde není uzemněná zátěž. Proto jsem toto zapojení poupravil, tak že jsem přidal proudové zrcadlo.[3]



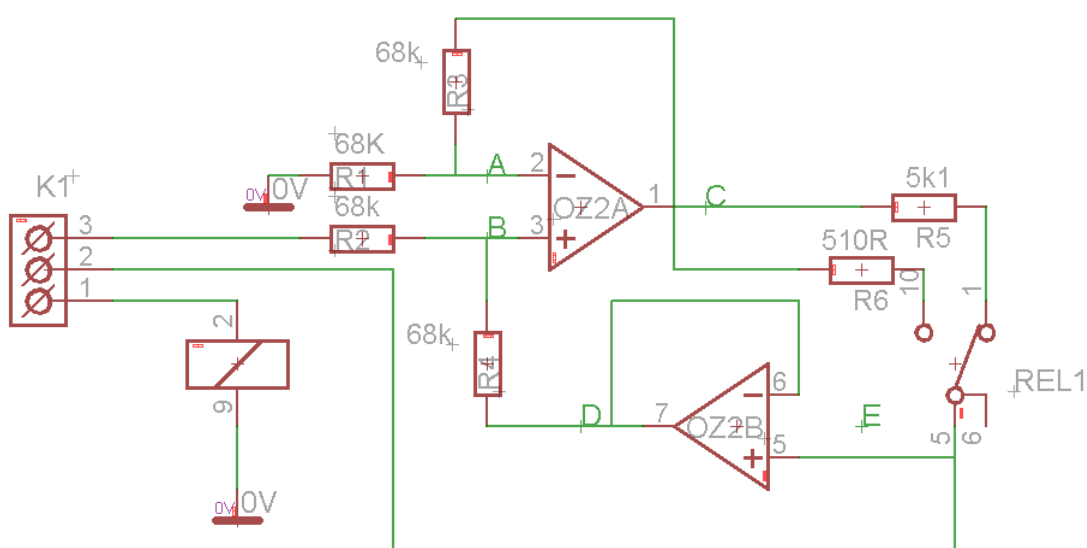
Obrázek 9: převodník napětí na proud s proudovým zrcadlem

Na pozici T1 a T2 jsem použil dva tranzistory bc807, což se ukázalo jako velická chyba, neboť na proudové zrcadlo se používají speciální tranzistory, kde v jednom pouzdře na jednom čipu jsou oba dva a musejí být identické. V mém případě se ukázalo, že

realizovat proudové zrcadlo z tranzistorů téměř nelze, neboť se každý jinak zahřívá a tím se mění výstupní proud, i když proud T1 je stále stejný. Proto jsem musel od tohoto zapojení upustit.

4.1.3 Napětím řízený zdroj proudu

Jelikož předchozí snahy nevedly k úspěchu a nechtěl jsem kupovat hotový převodník, musel jsem se poohlédnout po něčem trochu více vyhovovujícím. V přednáškách Ing. Lubomíra Slavíka Ph.D. jsem našel zapojení, které jsem poupravil, tak aby splňovalo mé požadavky.



Obrázek 10: Napětím řízený zdroj proudu

Pro ideální operační zesilovače platí, že mají nekonečné zesílení a nekonečnou vstupní impedanci. V rovnovážném stavu, pro který se provádí výpočty, má vždy nulové napětí mezi vstupy, a do vstupů neteče žádný proud. OZ2B je zapojen jako napěťový sledovač a slouží pouze jako impedanční oddělovač, jeho zesílení je rovno jedné, neboť výstup je spojen s invertujícím vstupem a napětí na invertujícím vstupu je shodné s napětím na neinvertujícím vstupu.

Jelikož $R1=R2=R3=R4=68K\Omega$ můžeme je ve výpočtech označovat pouze R a tudíž platí:

$$U_b = U_a$$

Rovnice 4: rovnost napětí na vstupech OZ2A

$$U_C = 2 \cdot U_B$$

Rovnice 5: Výstup OZ2A

$$U_D = U_E$$

Rovnice 6: impedanční oddělovač

$$U_B = \frac{U_D + U_{in}}{2}$$

Rovnice 7: napětí na vstupech

$$U_E = U_C - R_o I_o$$

Rovnice 8: výstupní napětí

$$U_B = \frac{U_{in} + U_C - R_o I_o}{2}$$

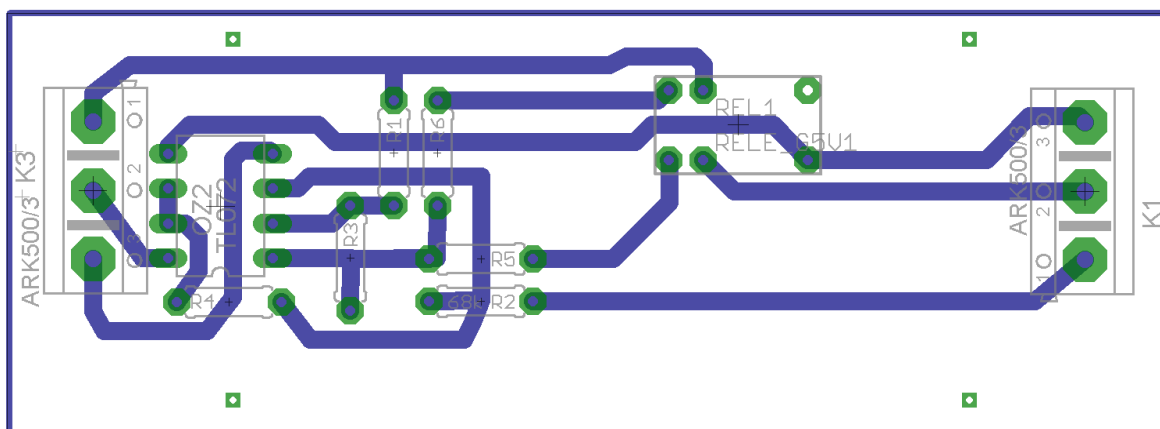
$$U_C = U_{in} + U_C - R_o I_o$$

$$U_{in} = R_o I_o$$

$$I_o = \frac{U_{in}}{R_o}$$

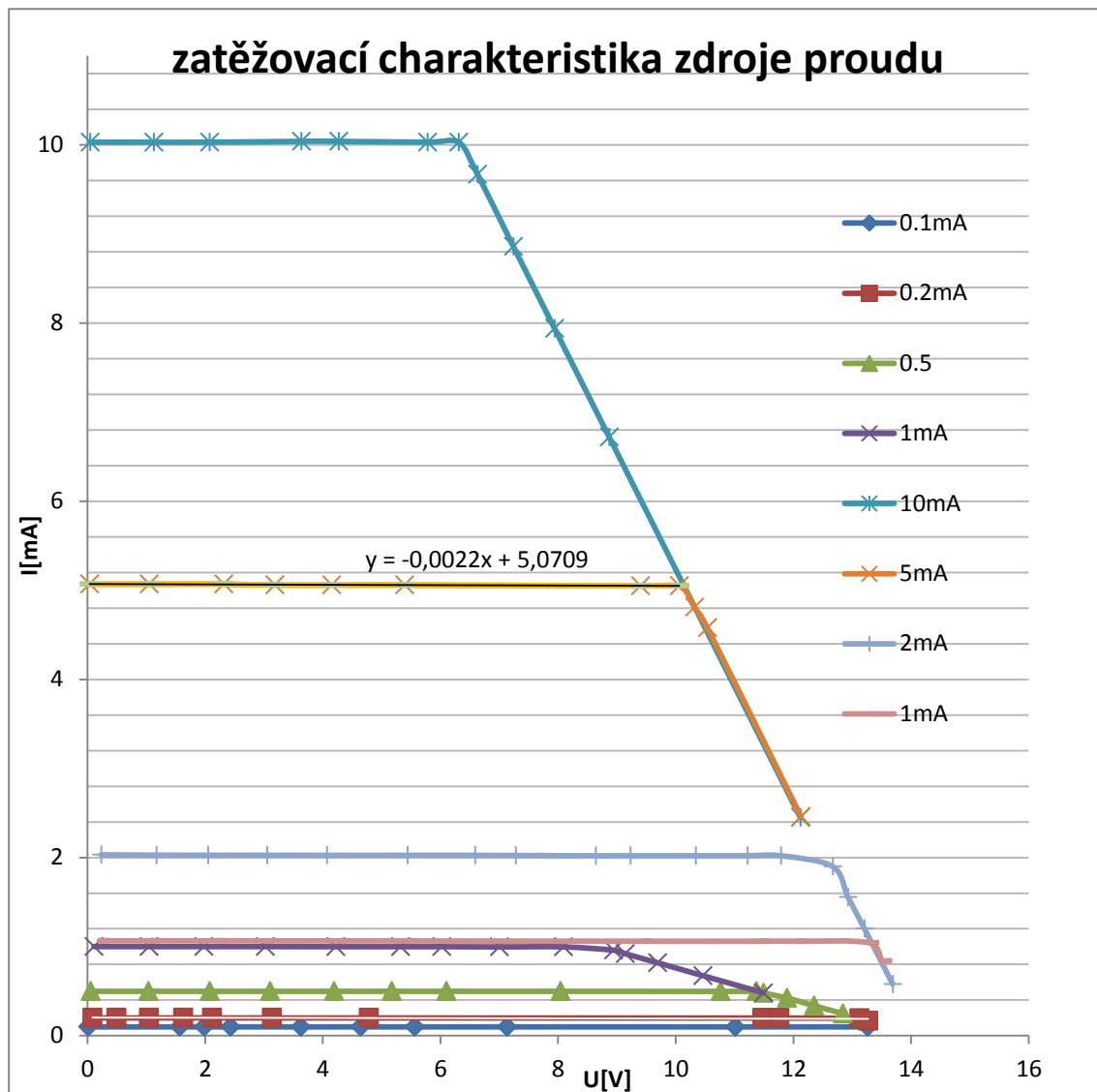
Rovnice 9: odvození zdroje proudu

Rezistor R_o je výstupní rezistor zdroje proudu a je jím a vstupním napětím určen výstupní proud. Rezistory jsou dva, slouží pro přepínání rozsahů zdroje, které je realizováno jedním relé. Přepínání je potřeba neboť výstup z PLC je realizován pouze osmibitovým D/A převodníkem jehož kvantovací krok je 42,2 mV. Nevýhoda tohoto zdroje proudu je, že od saturačního napětí (cca 12 V) se odečítá vstupní napětí. Tudiž pro potřebu výstupního napětí cca 4V nesmí být vstupní napětí větší než 8V. Já jsem si zvolil 5,1V pro maximální proud je tedy odpor 510 Ω , což by znamenalo při kroku 42,2 mV krok proudu 82,7 μ A. Tento krok je při nastavování proudu okolo 100 μ A příliš hrubý. Tudiž PLC přepne zdroj na výstupní odpor 5,1 K Ω , čímž se krok sníží na desetinu, což už je akceptovatelná hodnota.



Obrázek 11: DPS zdroje proudu

Zdroj proudu je umístěn v krabici na DIN lištu, stejně jako měřicí komora a rozšiřující relé. Nevýhodou tohoto zapojení je, že pro různá vstupní napětí, lze na výstupu dosahovat různých výstupních napětí. Druhou „nepříjemností“ je nutnost napájet zdroj proudu symetrickým napětím, může být i asymetrické ale je potřeba záporné napětí o velikosti alespoň 4 V. Napájecí napětí bude získáno z měniče, který bude připojen na napájecí zdroj PLC a bude vyrábět +15 a -15V. Ve zdroji je osazen přesný operační zesilovač TL052CP a rezistory s tolerancí 0,5% .



Obrázek 12: zatěžovací charakteristika zdroje

Ze zatěžovací charakteristiky zdroje je vidět, že pro větší řídicí napětí je maximální výstupní napětí menší.

$$I = I_0 - \frac{1}{R_i} U_0$$

Rovnice 10: vnitřní odpor zdroje

Pro určení vnitřního odporu zdroje využijí lineární regrese části zatěžovací charakteristiky, kde bude zdroj pracovat. Z tohoto mi vyjde rovnice přímky.

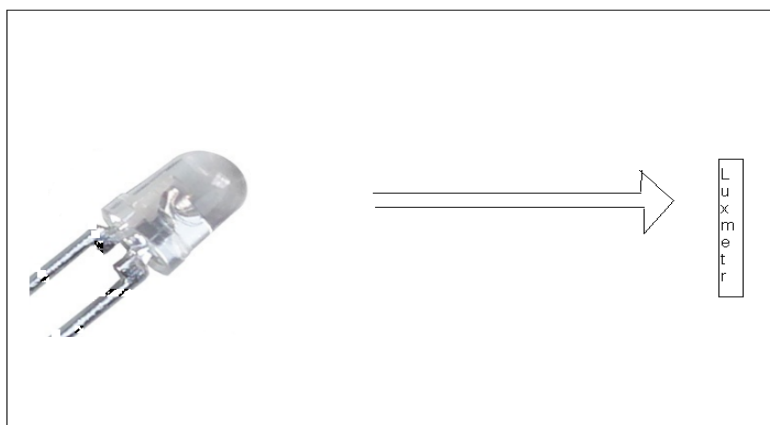
$$y = kx + q$$

Rovnice 11: rovnice přímky

Z lineární regrese mi vyšla rovnice $y = -0,0022x + 5,0709$. Tyto hodnoty jsou ale v mA a proto je nutné je vydělit 1000, abychom měli základní jednotky. Poté stačí, abychom napasovali tuto rovnici přímky na rovnici pro vnitřní odpor zdroje. Kde q je rovnou I_0 a k je rovno převrácené hodnotě R_i . Pro případ regrese použité v grafu vychází vnitřní odpor zdroje $454,54 \text{ K}\Omega$, což dělá pro bílou LED o difúzním napětí 3,7V chybu proudu $-8,14 \mu\text{A}$.

4.2 Měřicí komora

Měřicí komora je plastová krabička na DIN lištu, ve které je umístěn snímač osvětlení, měniče napětí, které vyrábějí z napájecího zdroje automatu +5V na napájení luxmetru, +15 a -15V pro napájení řízeného zdroje proudu a samotné měřené LED.



Obrázek 13: účel komory



Obrázek 14: provedení komory

4.2.1 Převodník světla na proud BH1603FVC-TR

Integrovaný obvod BH1603FVC-TR je převodník osvětlení proud, na jeho vstupu je umístěna fotodioda, ze které se signál převádí zesilovačem, který umožňuje 3 rozsahy měření osvětlení na výstupní proud. Výstupní napětí lze spočítat podle rovnice 12, kde S je senzitivita snímače. Senzitivita je dána měřicím rozsahem a určí se z tabulky 2, na přípravku je zvolena pomocí dvou adresovacích propojek tzv. jumper a nelze ji změnit programově či z webové stránky.

$$U_{out} = S \cdot E_v \cdot R_{out}$$

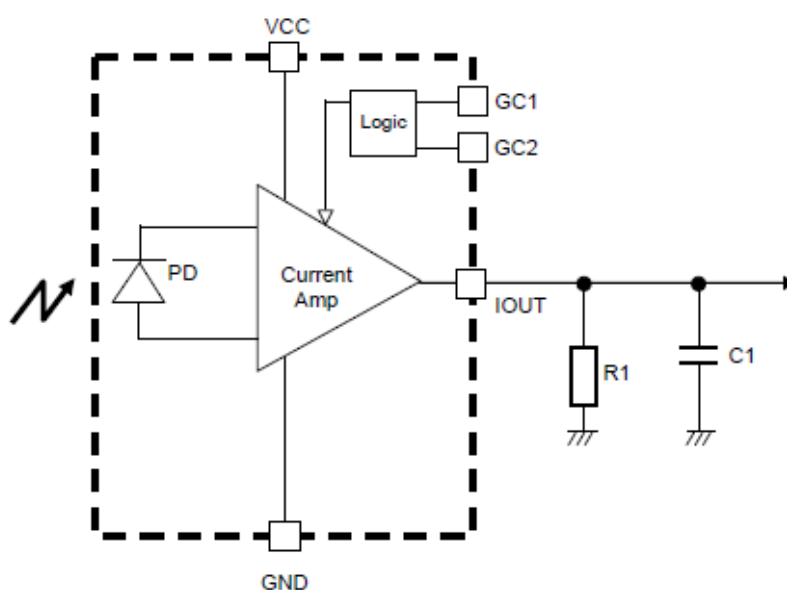
Rovnice 12: výstupní napětí snímače

JMP1	JMP0	Senzitivita
0	0	OFF
0	1	6,0E-07
1	0	6,0E-08
1	1	6,0E-09

Tabulka 2: Volba sensitivity

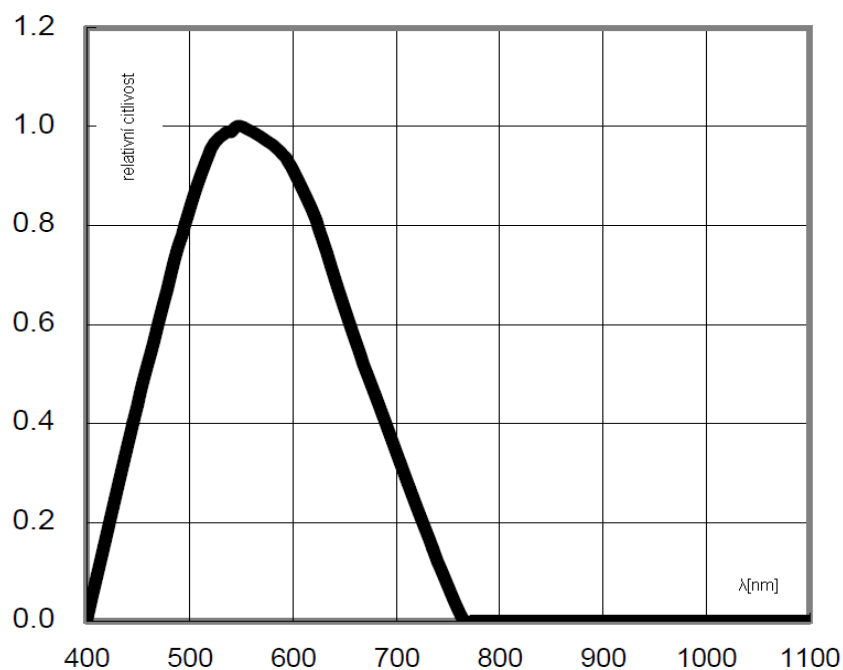
Tento snímač jsem si vybral především pro jeho spektrální charakteristiku, která je téměř shodná s lidským okem. Jelikož se jedná o jediný převodník s touto vlastností, který jsem si jakožto fyzická osoba mohl pořídit, musel jsem akceptovat jeho malé rozměry a s tím spojené problémy při osazování obvodu o rozměrech $3 \cdot 1,6 \text{ mm}$.

Snímač je schopen na výstup dodat napětí maximálně 2 V, pak může docházet k nelinearitám výstupního proudu. Proto bylo nutné vhodně určit rezistor R_{out} tak abychom nedosáhli omezení. Nejprve jsem chtěl R_{out} navrhnout takový, aby osvětlení 1 lx odpovídalo výstupnímu napětí 10 mV (případně 1 mV nebo $0,1 \text{ mV}$ podle rozsahu.), ale rezistor mi vycházel $\overline{16,66 \text{ K}\Omega}$, bohužel tato hodnota se nedá složit z několika jiných, které by se nacházely v řadě E12. Když jsem zjistil, jak jednoduché je dostat napětí do automatu a přepočítávat jej na osvětlení tak jsem metodou pokus omyl vybral rezistor, tak aby při maximálním proudu do LED s nejvyšší svítivostí nebylo na snímači více než 2 V , kde by jednak docházelo k nelinearitě výstupu snímače a automat při překročení $2,1 \text{ V}$ se bude chovat jako by na jeho analogovém vstupu bylo právě $2,1 \text{ V}$. Mnou stanovená hodnota rezistoru je $7,8 \text{ K}\Omega$ a senzitivita $6,0 \text{ E-08}$. Pro tyto hodnoty nesmí osvětlení přesáhnout $4273,5 \text{ lx}$.

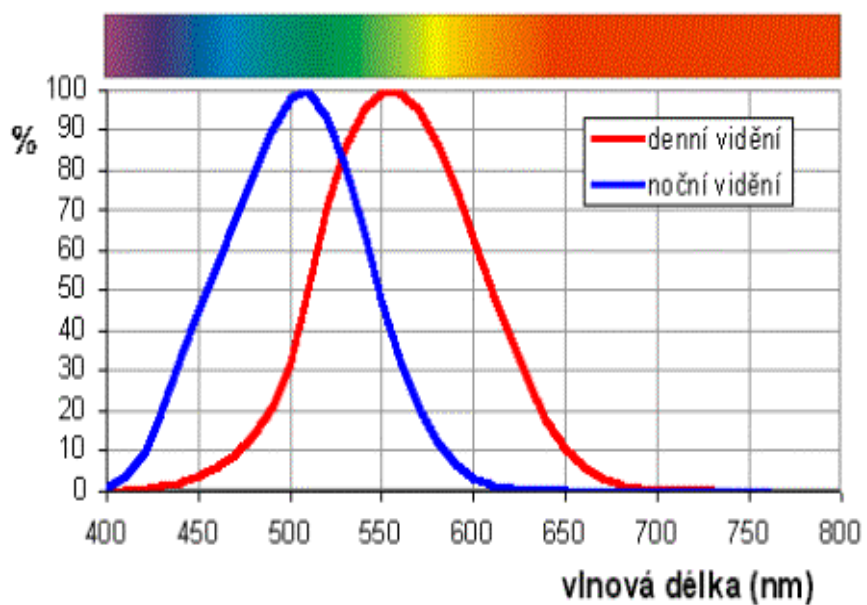


Obrázek 15: Blokový diagram obvodu BH1603FVC-TR [7]

Výstupní kondenzátor není v našem případě nutný, protože zdroj světla je konstantní, kondenzátor se používá v případě, je-li intenzita světla proměnná v čase periodicky např. ze žárovky napájené síťovým napětím o frekvenci 50 Hz má osvětlení frekvenci 100 Hz , protože žárovka pohasíná (vlivem tepelné setrvačnosti nezhasíná) při průchodu proudu nulou a obě půlvlny sinusoidy svítí stejnou intenzitou.[7]

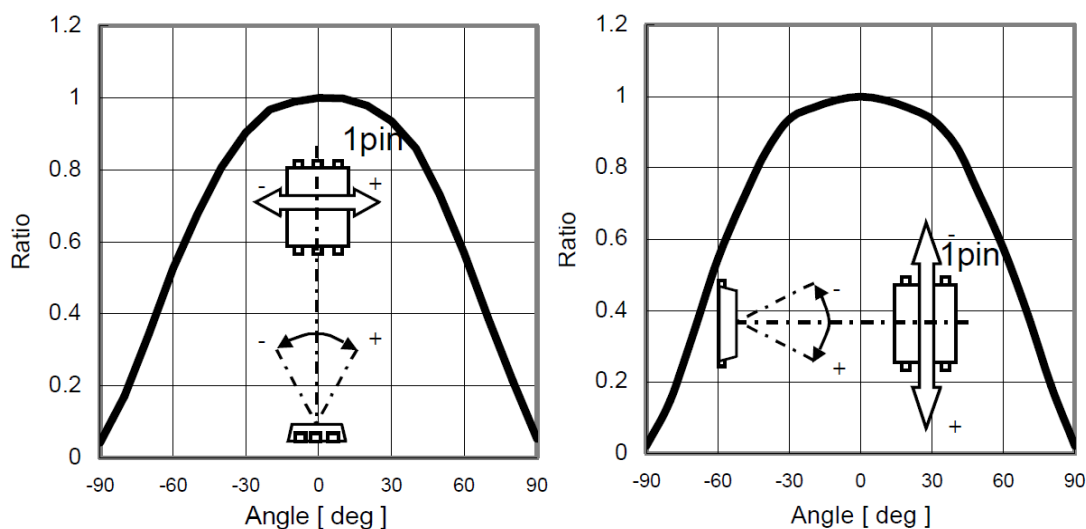


Obrázek 16: Spektrální charakteristika snímače[7]



Obrázek 17: spektrální citlivost lidského oka [2]

Při porovnání obrázků 14 a 15 je vidět, že lidské oko má trochu jinou závislost citlivosti na vlnové délce světla, než snímač ale jiný a lepší se mi nepodařilo sehnat.



Obrázek 18: Úhlová závislost citlivosti na dopadající záření

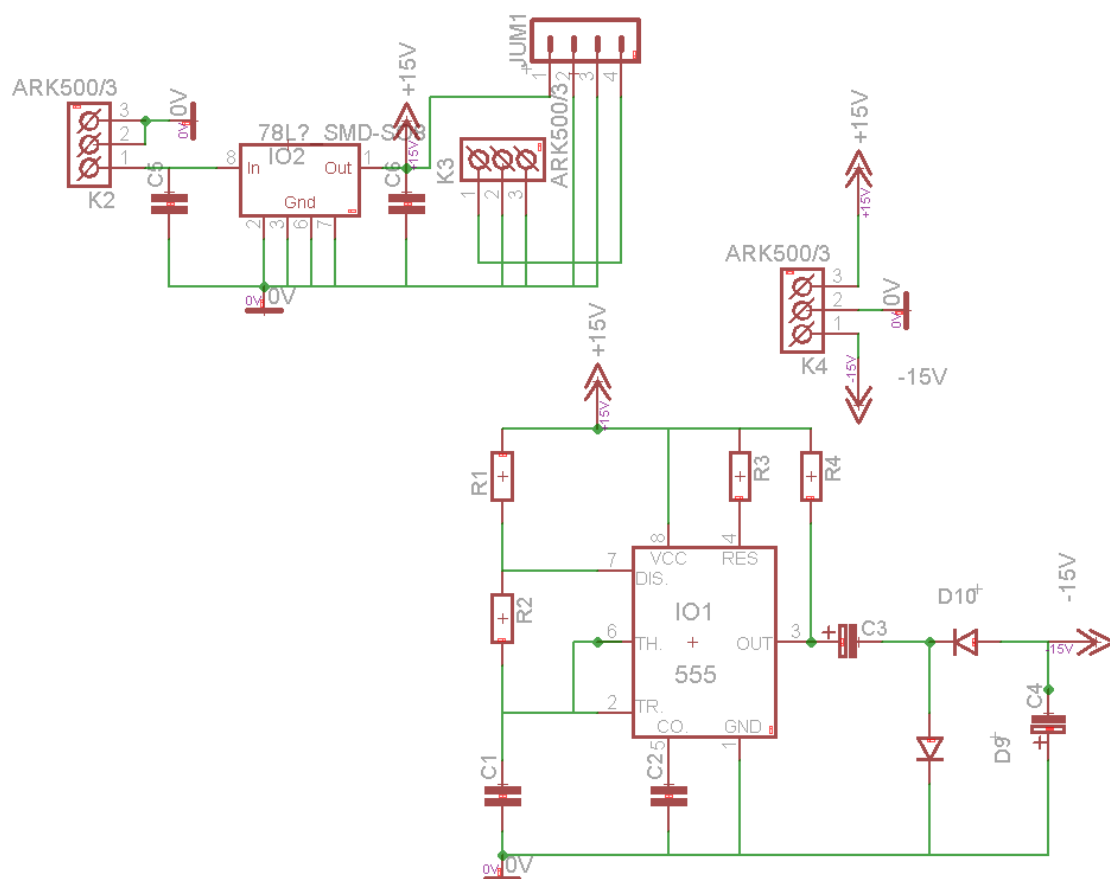
Výstup snímače je realizován jako proudové zrcadlo s minimálním zatěžovacím odporem $1\text{K}\Omega$, což je výstupním odporem $7,8\text{K}\Omega$ splněno.

Napájení snímače smí být v rozpětí 2,4 až 5,5 V. Protože, přípravek bude napájen z průmyslového zdroje k automatu, který má parametry 24V 2,5A , bylo potřeba zajistit snížení napájecího napětí snímače. K tomuto účelu jsem použil běžný třísvorkový lineární stabilizátor 78L05-SMD v jeho doporučeném zapojení.

4.2.2 Měníče napětí

Měníče napětí jsou umístěny přímo v měřicí komoře, protože zde zbylo místo, a proto, že jsem se rozhodl nepoužít externí transformátor, abych předešel problémům spojeným s přivedením síťového napětí do zařízení a ušetřil za transformátor, jehož použití není nutností.

Měníče slouží pro úpravu napětí ze zdroje napájecího automatu. Kladných 15 V je vyrobeno ze 24, které jsou dostupné ze zdroje automatu, lineárním stabilizátorem napětí typu 78L15. Záporné napětí je vyráběno pomocí měniče s obvodem 555, který je zapojen jako astabilní klopný obvod, tudíž na výstupu obvodu jsou pravoúhlé kmity. Při vysoké úrovni (15V) se nabíjí kondenzátor C3 přes diodu D9. Když dojde k přechodu do nízkého stavu (0V) pokles se přenesse i na druhý vývod kondenzátoru C3, kde bylo cca 0,7V a vznikne zde záporné napětí o velikosti cca 14,3V. v ten samý okamžik se přes diodu D10 na cca -13,6V nabije kondenzátor C4, který slouží pro uchování napětí v době kdy je na výstupu 555-ky vysoká úroveň.



Obrázek 19: zapojení měničů napětí

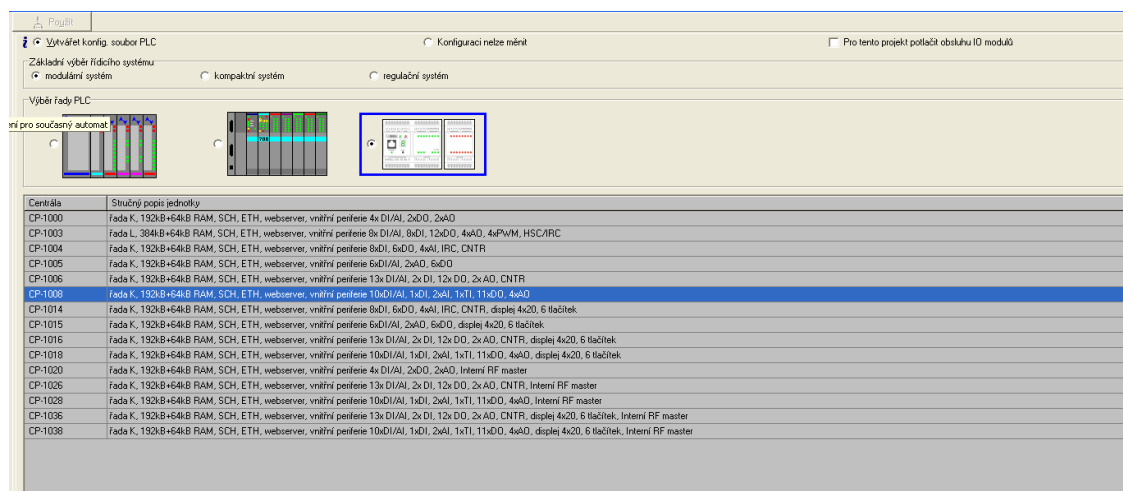
5. Software pro PLC automat CP-1008

Řídicí algoritmus pro automaty firmy TECO, se vytváří v jejich integrovaném vývojovém prostředí MOSAIC. V prostředí je možno programovat podle všech možností normy IEC 61131 ale je zde možné programovat i PLC starší, které nejsou programovatelné podle normy IEC 61131. Při programování podle normy je hlavní výhodou jednoduchost přechodu mezi jednotlivými výrobci PLC.

V návodu k mosaicu se píše, že pracuje v OS Windows 2000 a Windows XP. I přes to, se mi instalace na Windows 7 zdařila a mosaic pracoval bez jakýchkoli problémů.

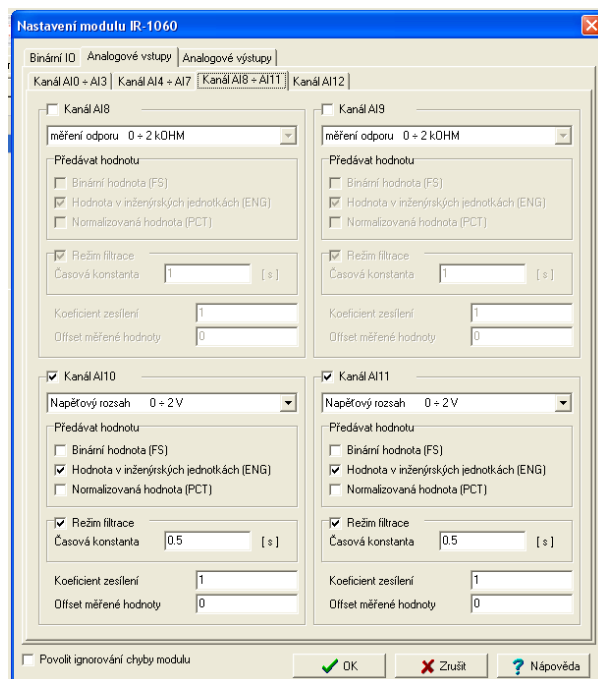
Pro vytvoření programu pro jeden automat je nutno založit nový projekt. Projekt obsahuje minimálně jeden program a další potřebné soubory například pro vytvoření webových stránek nebo další POU. Při zakládání projektu musíme zvolit, ze které řady PLC bude použitý automat.

V manažeru projektu, pod složkou výběr řady PLC, jsem vybral můj automat CP-1008.



Obrázek 20: výběr PLC

V nastavení vstupně/výstupního modulu IR-1060 jsem nastavil dva analogové vstupy AI10 a AI11 na napěťové rozsahy 0 až 2 V. Zapnul jsem režim filtrace s periodou původně 100ms, která je defaultně nastavena, poté jsem ji experimentálně upravil na 0,5s. Čtení jsem si nastavil v inženýrských jednotkách, tedy že ze vstupu budu číst hodnotu v plovoucí řádové čárce, která odpovídá vstupnímu napětí.



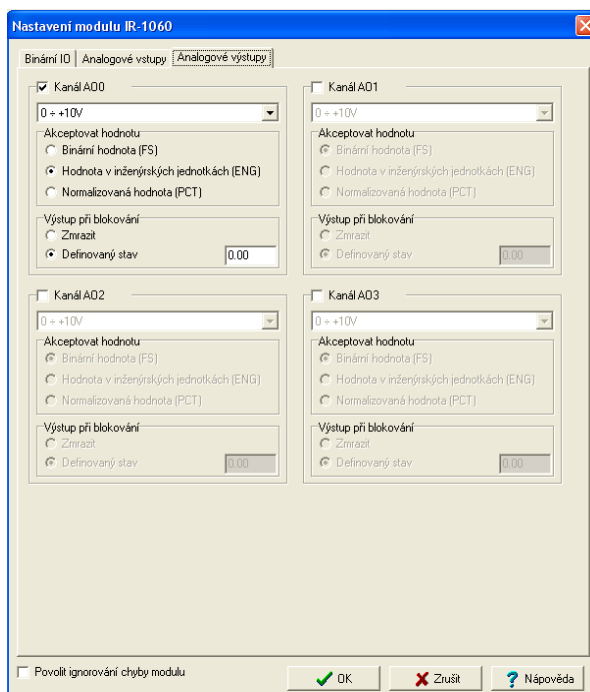
Obrázek 21: konfigurace napěťových vstupů

Režim filtrace je zajištěn filtrem 1. Řádu, jehož přenos je dán rovnicí 13, kde y je čtená hodnota, y_{t-1} je minulý stav čtení, x je hodnota vstupu a τ je časová konstanta.

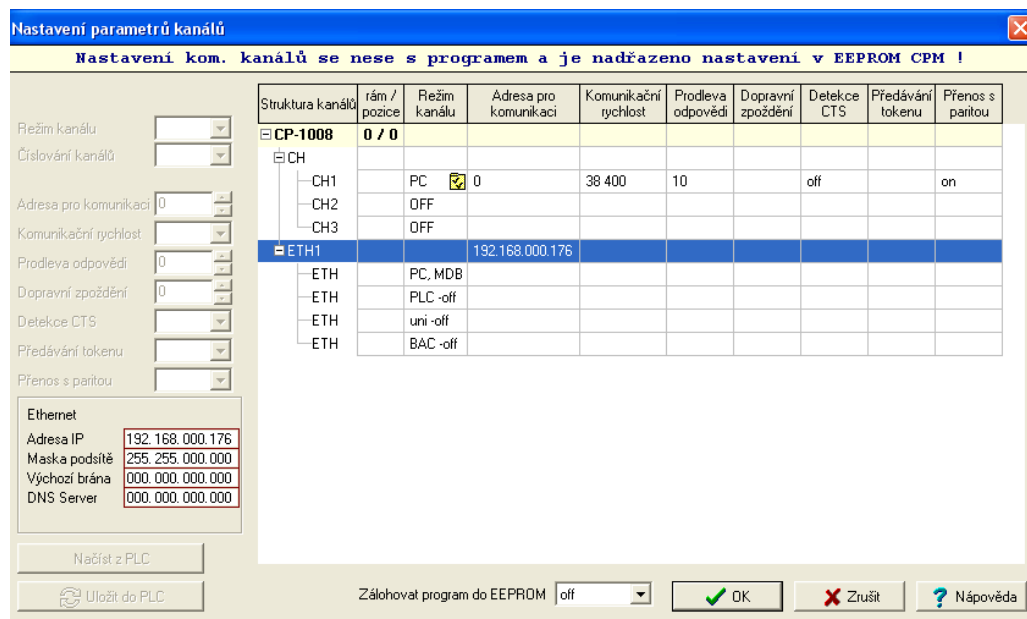
$$y = \frac{y_{t-1} \cdot \tau + x}{\tau + 1}$$

Rovnice 13: filtrace 1. řádu

Dále jsem zapnul analogový napěťový výstup na kanál AO0, který je 0 až 10 V a nelze měnit, se zápisem v inženýrských jednotkách a definoval, že v režimu HALT bude na výstup dodávat 0 V. Na výstupu je možno dosáhnout až 10,5V což odpovídá maximálnímu proudu LED 20,5 mA, které LED nezničí, neboť jsou na 20 mA.



Obrázek 22: Nastavení napěťového výstupu



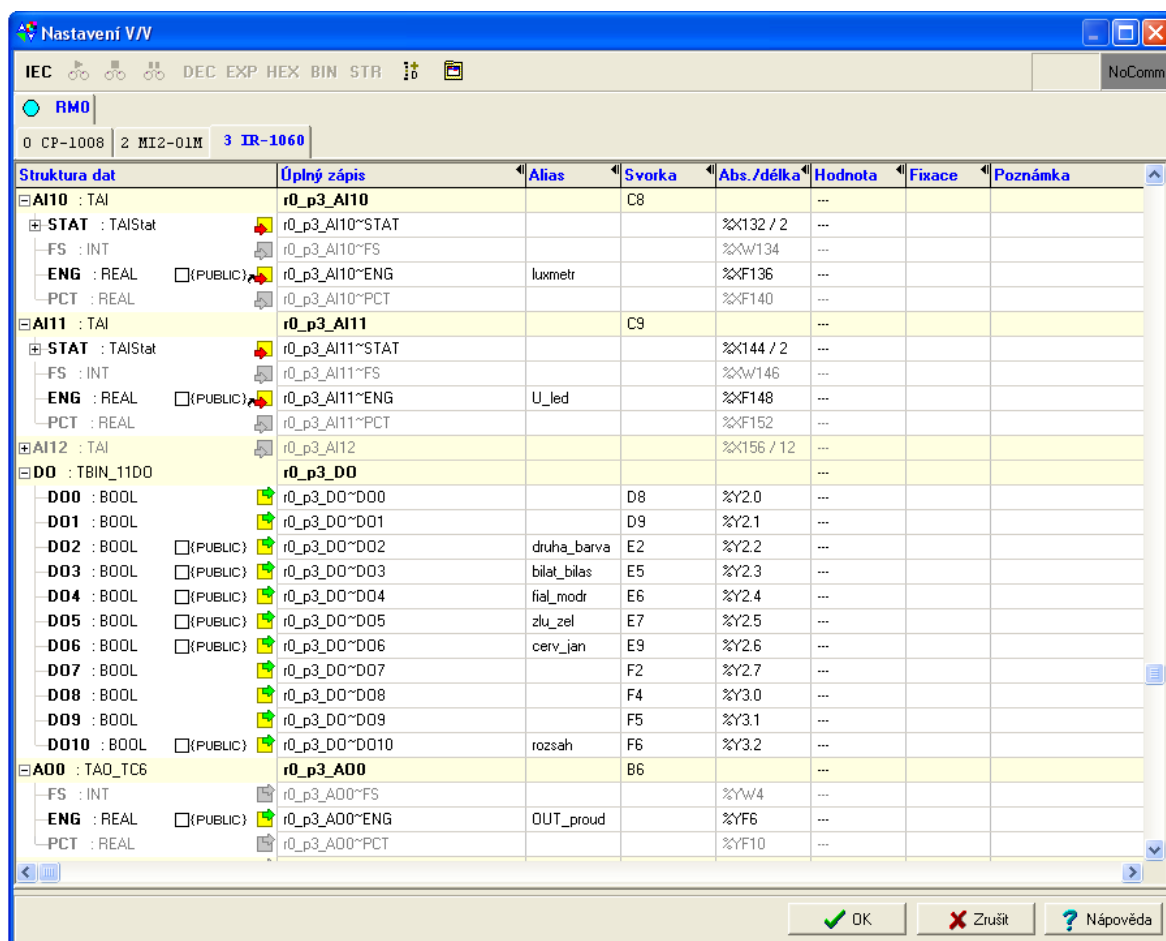
Obrázek 23: Nastavení IP adresy

Jelikož defaultní IP adresa automatu byla 192.168.134.176 a můj router přiděluje IP adresy 192.168.0.x, což jsem nemohl změnit, musel jsem propojit PLC a PC napřímo. Nastavil jsem adresu PC na stejnou síť a podsít' aby mohly komunikovat. Poté jsem změnil IP automatu na adresu z rozsahu, který přiděluje router. IP adresa musela být statická neboť nikde v mosaice není možnost nastavení přidělení konfigurace z DHCP serveru. Nastavení je vidět na obrázku 23.

5.1 Data poskytovaná deskou IR-1060

Centrální modul foxtrot CP-1008, interaguje s okolím pomocí svého periferního modulu označovaného jako IR-1060. Tento modul obsahuje všechny vstupy i výstupy, jak analogové tak digitální (binární). Všechny analogové vstupy lze přepnout do binárního režimu, ve kterém jsou defaultně a je potřeba je pro měření analogových veličin aktivovat a vybrat správnou měřenou veličinu viz obrázky 21 a 22.

Do nastavení periferního modulu se dostaneme z hlavního okna mosaicu přes ikonu nastavení v/v a v novém okně záložkou IR-1060.



Obrázek 24: Nastavení vstupů a výstupů

K hodnotám ze vstupů se můžu dostat buď přes jejich úplné jméno, které je uvedeno ve sloupci úplný zápis, nebo si je můžu pojmenovat nějak „inteligentněji“ ve sloupci alias. V žádném případě se nesmí použít absolutní operand, protože může být při každém překladu jiný. Já jsem se rozhodl pro použití svých názvů vstupů a výstupů, tak aby jejich název vypovídal o jejich významu v zapojení. Pod těmito názvy je pak použiji v programu. V HW konfiguraci jsem si musel nejprve určit, které analogové vstupy budou použity neboť „zašedlé“ (neaktivní) nelze v programu používat. Při spuštěné komunikaci s PLC a režimu RUN lze ve sloupci hodnota sledovat nasnímané hodnoty vstupů, čehož jsem při odladování hojně využíval.

5.2 Program ve strukturovaném textu

Pro jazyk strukturovaný text jsem se rozhodl, neboť je velmi podobný jazyku C, se kterým jsem se již dříve seznámil. Na tuto úlohu bylo jeho použití nejvhodnější z jazyků specifikovaných normou IEC 61131-3, protože se zde realizují výpočty v plovoucí řádové čárce, datový typ real.

Dalším důvodem pro jeho použití byla jednoduchost a přehlednost zápisu algoritmu, kterou jsem v instrukčním listu postrádal a možnost použití datových polí, které potřebuji pro vykreslování grafů.

Jelikož mosaic ve WEBmarkeru nemá komponentu graf, a jejich knihovna pro kreslení grafů pomocí sloupců je uzpůsobena na zkoumání nějaké veličiny v čase, musel jsem si poradit sám.

Jako první jsem udělal obdélník plný malých obdélníčků, které by měnily barvu a tím, by vykreslovali průběh. Tuto možnost jsem realizoval, a vypadala velmi slibně, bohužel fungovala jen v mosaicu, protože při pokusu o překlad webové stránky docházelo k erroru, způsobenému přílišným počtem proměnných na jedné stránce. Na bodový graf jsem totiž potřeboval 4000 bitových proměnných.

Na druhý pokus jsem se inspiroval knihovnou pro tvorbu jednoduchých grafů přímo od firmy teco a začal jsem s rozmístováním sloupců, jejichž délka nebo šířka jsou ovládány hodnotou. Při měření volt-ampérové charakteristiky LED by 1 volt vyobrazil sloupec o délce 1 pixel, proto jsou hodnoty napětí LED, které jsou ukládány do pole real-ů, ze kterého jsou sloupce ovládány, násobeny padesáti.

U měření osvětlení nastal jiný problém a to, že různá LED mají různou svítivost a rozdíly mezi nimi jsou i více než desetinásobné. Tento problém řeším tak, že naměřené hodnoty ukládám do pole, a odsud jsou přepočítávány v určitém měřítku, tak aby graf byl co nejčitelnější. V grafu se vynášejí sloupce na výšku, vždy když by sloupec měl být vyšší než pole grafu tj. 500pixelů, je měřítko zdvojnásobeno a všechny hodnoty znova přepočítány.

Od naměřeného osvětlení se odečítá okolní, rušivé osvětlení, které má po restartu automatu hodnotu 0 a před každým měřením je nutné jej změřit. To se provádí tlačítkem kalibrace, které zhasne LED a odečte osvětlení z luxmetru. Toto je potřeba provést vícekrát, neboť je prováděna filtrace osvětlení filtrem 1. Řádu s časovou konstantou 0,5 s. filtrace je zapnuta celou dobu, neboť potlačuje rušení a není možné ji programově deaktivovat.

5.3 Tvorba webové stránky

Pro tvorbu webových stránek, které „běží“ na webservru v PLC se používá opět program mosaic, konkrétně jeho modul webmaker. Toto má jednu zásadní výhodu, a to, že není zapotřebí znalosti v oblasti tvorby webových stránek. Používání webmakeru má výhodu v jednoduchosti tvorby stránky, bohužel velkou nevýhodou je malý počet poskytovaných komponent. To s sebou přináší nezvyklý způsob ovládání úlohy.

Problémy, se kterými jsem se potýkal, byly:

- Absence grafu
- Absence tlačítek
- Počet proměnných na stránku

Jelikož na stránku není možné vložit tlačítko, které by bylo navázáno na některou proměnnou, ale lze vložit tlačítko, které odešle ze zadávacích polí hodnoty do proměnných v programu, tak jsem musel použít komponentu nazvanou prvek pro nastavení hodnoty proměnné, který funguje tak, že po kliknutí na něj je nastavena hodnota proměnné, se kterou je svázán na hodnotu, kterou definujeme. Hodnota v proměnné zůstává, po dobu než ji program změní. Toho využívám, tak že se dotazuji na hodnotu oné proměnné a je-li nastavena na true vykonám akci a proměnnou nastavím na false.

Při zjištění, že nemohu dodat pole naměřených dat a vygenerovat z něj graf, jsem začal postupovat, tak aby nebyla složitá úprava naměřených dat v programu viz 5.2 program ve strukturovaném textu a zhotovil jsem „sloupcový graf“.

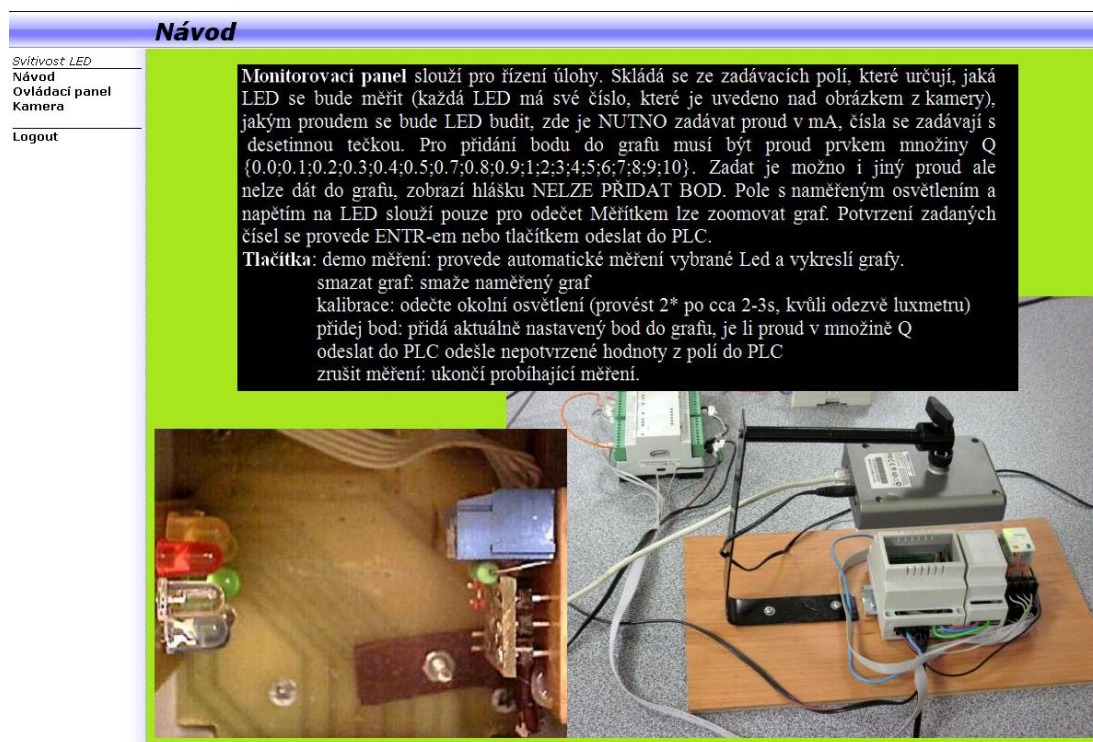
Skupina stránek s měřením, svítivosti LED má tyto podstráně:

- Návod
- Ovládací panel
- kamera

Návod obsahuje fotografii úlohy, aby každý, kdo se přihlásí na stránku, viděl, jak úloha fyziky vypadá. Také je zde popis ovládacího panelu, zejména k čemu komponenty slouží. Záložka návodu je vyobrazena na obrázku 26.

Ovládací panel, který je vyobrazen na obrázku 26, slouží pro řízení úlohy. Vybírá se zde LED, která se bude měřit, provádí se zde kalibrace luxmetru (odečtení okolního osvětlení). Nastavují se zde proudy, které se nechávají procházet LED. Zde jsou též umístěna pole, ve kterých jsou naměřené hodnoty osvětlení a napětí na diodě.

Je zde i režim, který se spouští tlačítkem demo měření, a pro vybranou LED provede automatizované měření, s vykreslením grafu. Pro vizuální kontrolu je vlevo dole umístěn malý obrázek z web kamery, který se aktualizuje každou 1s. To bohužel způsobuje blikání v prohlížeči opera, jiné (Google Chrom, Internet Explorer a mozilla Firefox) tento problém nemají. V zájmu datového toku a odolnosti vůči útokům není přenášeno „živé“ video, které vzhledem k aktualizaci stránky každou 1s bylo k nerozeznání od obrázku, ale v opeře neblikalo.



Obrázek 25: Webová stránka - návod úlohy

Záložka s kamerou slouží pouze jako nástroj pro vizuální kontrolu měření, při které je možno identifikovat některé hrubé chyby měření, například rozsvítí-li někdo v laboratoři, kde je úloha umístěna.

6. IP kamera

Jelikož, webserver automatu umožňuje na stránce, kterou generuje zobrazovat pouze obrázky ve formátu jpg případně video ve formátu mjpg, musela být pořízena kamera, která tyto formáty předává. Pro tuto úlohu byla zakoupena kamera EDIMAX IC-3100. Tato kamera umožňuje, jak video ve formátu mjpg tak i volně (bez hesla) obrázek ve formátu jpg, kdykoli si o něj zažádáme.

6.1 Nastavení kamery

Při nastavení kamery bylo zapotřebí aktivovat službu DHCP, jelikož jinak by nebyla kamera přístupná mimo univerzitní síť LIANE. Ve WEBmakeru se na pozici obrázku z IP kamery zadává její IP adresa končící požadovaným formátem a perioda obnovování. IP adresu přes to, že ji dostává z DHCP má stále stejnou, neboť je pro její MAC adresu rezervována.

LAN	Dynamic DNS	UPnP	LoginFree	RTSP
LAN				
✓ Network Type : <input checked="" type="radio"/> DHCP <input type="radio"/> static IP Address				
✓ IP Address : <input type="text" value="192.168.0.250"/>				
✓ Subnet Mask : <input type="text" value="255.255.255.0"/>				
✓ Gateway : <input type="text" value="192.168.2.254"/>				
✓ Primary DNS : <input type="text" value="168.95.1.1"/>				
✓ Secondary DNS : <input type="text"/>				
✓ Web Port : <input type="text" value="80"/>				
PPPoE				
✓ Enable PPPoE : <input type="radio"/> Enable <input checked="" type="radio"/> Disable				
✓ Username : <input type="text"/>				
✓ Password : <input type="text"/>				
✓ MTU : <input type="text" value="1392"/> (512 ≤ MTU Value ≤ 1492)				
<input type="button" value="Apply"/>				

Obrázek 26: Nastavení LAN připojení

LAN	Dynamic DNS	UPnP	LoginFree	RTSP
LoginFree				
✓ Filename : <input type="text" value="picture"/> .jpg				
<input type="button" value="Apply"/>				

Obrázek 27: Nastavení volně dostupného obrázku

Dále jsem musel nastavit, na kterém místě se bude objevovat volně dostupný obrázek. Nastavil jsem IP/picture.jpg tedy obrázek je dostupný na adrese <http://ilab102.fm.tul.cz/picture.jpg>.

Camera Information	Date/Time Settings	Schedule	Utilities	Status	System Log
Utilities					
✓ Upgrade Firmware :		<input type="text"/>	<input type="button" value="Procházet..."/>	<input type="button" value="Upgrade"/>	
✓ Reset to Factory Defaults :		<input type="button" value="Reset"/>			
✓ Reboot Device :		<input type="button" value="Reboot"/>			
✓ LED Settings :		<input type="button" value="Turn On LED Light"/>			

Obrázek 28: Zhasnutí kontrolky

Jelikož na kameře po zapnutí neustále blikala kontrolka napájení, musel jsem ji vypnout, neboť na její blikání jsem nemohl nikterak zkalibrovat luxmetr. Vypnutí kontrolky jsem našel pod záložkami systém a utilites viz obrázek 28.

Camera Information	Date/Time Settings	Schedule	Utilities	Status	System Log
System					
✓ Firmware Version : v1.3 PnV (Apr 12 2012 17:11:17)					
✓ Device Uptime : 20 day(s) 16 hour(s) 18 min 39 sec					
✓ System Time : 2013/01/31 16:55:20					
LAN					
✓ IP Address : 147.230.76.228					
✓ Subnet Mask : 255.255.248.0					
✓ Gateway : 147.230.72.250					
✓ DNS Server : 147.230.16.140; 147.230.16.1					
✓ MAC Address : 80:1F:02:72:0E:E7					
✓ HTTP Port : 80					
PPPoE					
✓ Link Status : Disconnected					
✓ IP Address :					
✓ Subnet Mask :					
✓ Gateway :					
✓ DNS Server:					

Obrázek 29: stav kamery

M-JPEG	MPEG-4	H.264	OSD
M-JPEG			
✓ Video Resolution :		<input type="text" value="640 x 480"/>	
✓ Video Quality :		<input type="text" value="High"/>	
✓ Frame Rate :		<input type="text" value="3"/>	
<input type="button" value="Apply"/>			

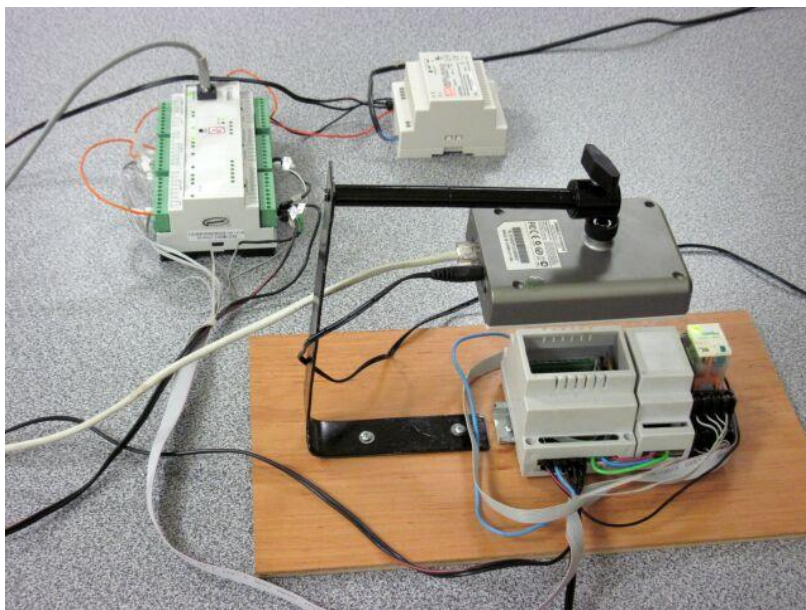
Obrázek 30: rozlišení kamery

Obrázek byl nastaven na rozlišení 640*480 pixelů a jeho kvalita byla nastavena na nejvyšší. Obrázek je na webové stránce zobrazován ve velikosti 640*480 pixelů, což není přes celé okno, ale přál si to tak vedoucí práce. V ovládacím panelu je převzorkován na menší.

7. Provedení úlohy

Úloha samotná se skládá ze tří částí. První částí je hardware pro měření, který se skládá z měřicí komory, řízeného zdroje proudu a jednoho relé, popsáno v kapitole 4. Toto vše je přiděláno na DIN lištu. Celé je to namontováno na dřevěné desce, kde je přišroubován i držák kamery. Druhou částí je WEB kamera, jejíž nastavení je popsáno v předcházející kapitole. Ke 3. Části tj. automatu se vše připojuje pomocí plochého kabele tzv.kšandy. Automat je umístěn odděleně, neboť není určen jen pro mou úlohu, ale musí se k němu připojit několik dalších přípravků.

Při testování, kdy PC, PLC i kamera byli připojeni k routeru a nebylo za potřeby, přidělit automatu IP adresu z DHCP vše fungovalo podle očekávání. Problém nastal ve chvíli, když měl automat být připojen do univerzitní sítě LIANE a bylo nutné mu přidělovat IP adresu z DHCP serveru, aby bylo možné se k webservru v PLC přihlásit i od jinud nežli z LIANE. Na zapnutí služby DHCP má firma tecomat zvláštní program se jménem SetPlcIp, ve kterém je možno ke všem automatům na síti, které nalezne (pravděpodobně to není nijak zabezpečeno) nastavovat IP adresy i aktivovat přidělení z DHCP serveru. IP kameře i automatu je přidělována stále stejná, podle MAC adresy.



Obrázek 31: provedení úlohy

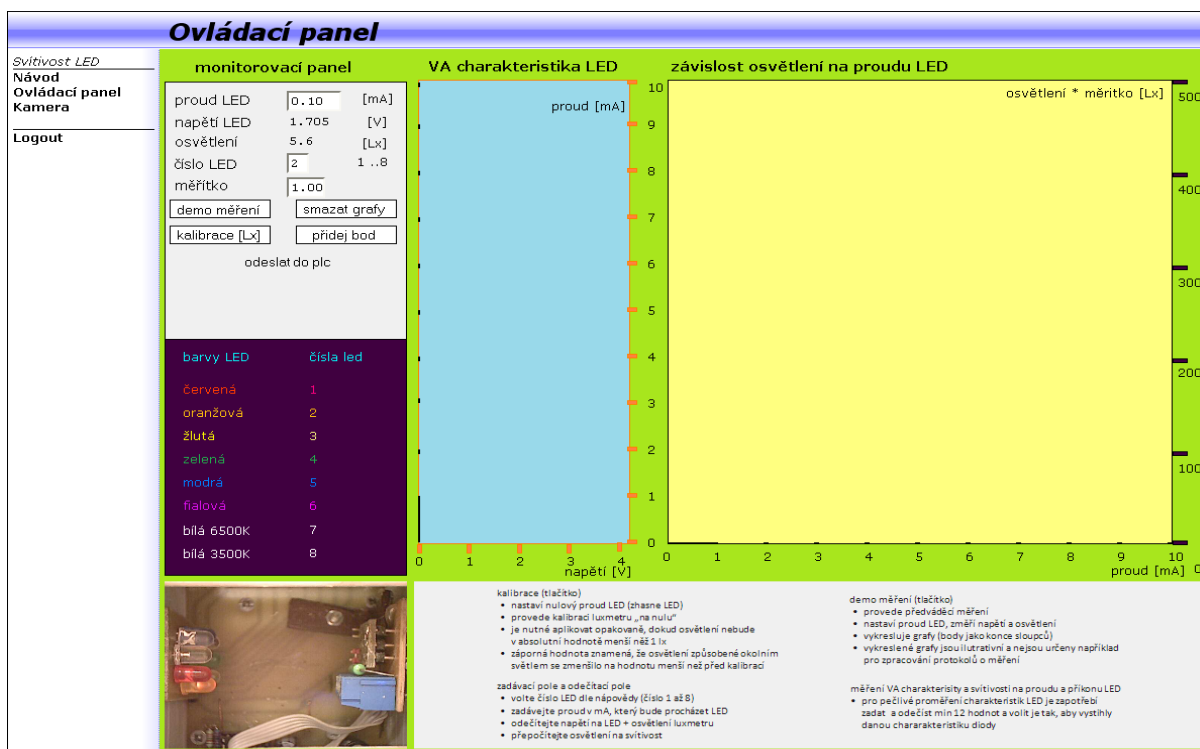
Shrnutí

Nejprve jsem se seznámil s problematikou světelných zdrojů, zejména LED diod, popisem světla a jeho měřením, zejména fotodiodami.

Ve třetí kapitole jsem se zabýval věcmi kolem PLC automatů, na jakém principu pracují, ale také jaké možnosti tvorby řídicího algoritmu, které nám nabízí norma pro jejich programování IEC61131-3. Nechybí ani výběr automatu, pro který jsem se rozhodl.

Ve čtvrté kapitole popisují hardwarové vybavení úlohy, které jsem musel vyrobit. Je to samotná měřicí komora s LED a luxmetrem a dále řízený zdroj proudu, kterým se napájí dané LED v komoře. Fotodioda (luxmetr) BH1603FVC-TR a důvody jejího nasazení do úlohy jsou zde též popsány.

V páté kapitole se jedná o nastavení automatu v programu mosaic především nastavení analogových vstupů, kde je zapotřebí vybrat správnou měřenou veličinu i její rozsah a způsob, jakým bude v programu čtena, na výběr byly 3 možnosti integer, kde 30000 je plný rozsah, integer s procenty z plného rozsahu a mnou vybraný real, ve kterém je umístěna přímo hodnota napětí na analogovém vstupu. Filtrace je zajištěna filtrem 1. řádu s časovou konstantou 0,5s. tím je i dán počet proveditelných kroků za sekundu. Součástí kapitoly je také způsob, jak lze přistupovat k hodnotám na vstupních svorkách i zapisovat do výstupů pomocí aliasů nebo plných názvů.



Obrázek 32: Ovládací panel vzdálené úlohy

V šesté kapitole se zabývám IP kamerou a jejím nastavením, zapotřebí bylo zapnout přidělení IP adresy z DHCP serveru, nastavení volného přístupu k obrázku, zhasnutí blikající kontrolky napájení a nastavení kvality a rozlišení obrázku.

Závěr

Podařilo se mi realizovat zadanou úlohu, která podpoří výuku pro kombinované studium na Fakultě mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. Provedení úlohy je podřízeno omezeným možnostem vývojového prostředí Mosaic a WEBmaker. Během řešení úlohy se vyskytl problém s nedostatečným počtem reléových výstupů, který jsem vyřešil přidáním externího relé, čímž jsem zvýši možný počet připojitelných LED, tak aby se na proudový výstup připojila vždy jen jedna. Druhým problémem byla absence analogového proudového výstupu, kterou jsem vyřešil za pomoci napěťového výstupu a napětím řízeného zdroje proudu, který jsem zkonstruoval za použití dvou přesných operačních zesilovačů.

Použitá literatura

1. DOLEČEK, J. Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky. Praha: BEN, 2007. 160s. ISBN 80-7300-184-5
2. JELÍNEK, Jiří. Měření fyzikálních veličin. Liberec: přednášky TUL, 2012.
3. KOLÁŘ, Milan. Analogová elektronika. Liberec: přednášky TUL, 2012.
4. TKOTZ, Klaus, et al. Příručka pro elektrotechnika. 2. Doplněné vydání. PRAHA: EUROPA-SOBOTÁLES, 2006. 623s. ISBN 80-86706-13-3.
5. Příručka projektanta systému FOXTROT [online]. 2012, č. 1, 73 s. [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: {http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00411_01_Foxtrot_DesingManual_cz.pdf}.
6. Programování PLC podle normy IEC 61131-3 v prostředí MOSAIC [online]. 2012, č.10, 104s.[cit 2012 -12-20]. Dostupné z: {http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00321_01_Mosaic_ProgIEC_cz.pdf}.
7. Datový list k luxmetru BH1603FVC-TR [online]. 2012, 9s.[cit 2012 -12-5]. Dostupné z: {<http://rohmfs.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/sensor/light/bh1603fvc-e.pdf>}.
8. PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY TECOMAT FOXTROT CP-1008, CP-1018, CP-1028, CP-1038. [online]. 2012, č.4, 132s.[cit 2012 -12-18]. Dostupné z: {http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV00438_01_Foxtrot_CP_1008.pdf}.